



1

PCT

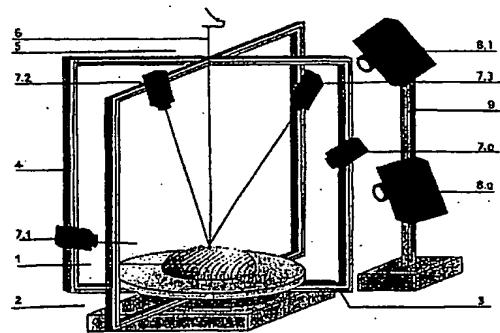
ORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>G01B 11/24</b>	<b>A1</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/26615</b>  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>11. Mai 2000 (11.05.00)</b>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/EP99/08272</b></p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: <b>3. November 1999 (03.11.99)</b></p> <p>(30) Prioritätsdaten: <b>198 52 149.9      4. November 1998 (04.11.98)      DE</b></p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): <b>FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).</b></p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): <b>SCHREIBER, Wolfgang [DE/DE]; Theobald-Renner-Strasse 52, D-07747 Jena (DE). NOTNI, Gunther [DE/DE]; Franz-Kugler-Strasse 14, D-07749 Jena (DE).</b></p> <p>(74) Anwalt: <b>PFENNING MEINIG &amp; PARTNER; Kurfürstendamm 170, D-10707 Berlin (DE).</b></p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: <b>JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</b></p> <p><b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i></p>	

(54) Title: **DEVICE FOR DETERMINING THE SPATIAL CO-ORDINATES OF OBJECTS**(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG DER RÄUMLICHEN KOORDINATEN VON GEGENSTÄNDEN**

## (57) Abstract

The invention relates to a device for determining the spatial co-ordinates of objects, comprising a projection device for irradiating the objects from at least two predetermined directions, each with at least two light patterns or with one light pattern whose brightness curve corresponds to the sum of the brightness curves of two crossed linear gratings. A sensor device records the intensity measurements of the object surface being illuminated by the light pattern for two-dimensions. An evaluation device uses these to determine at least four phase measurements for each of the recorded measuring points and uses these to determine at least all of the spatial co-ordinates of the points and preferably, the inner and outer orientation parameters for all of the projector positions or projectors and the correction parameters for distorting the projection optical systems. The object being measured is arranged on a rotating table on which there is a supporting device with bearing elements. The bearing elements are arranged in different radial directions in relation to the rotating table and can be rotated with said rotating table about its axis of rotation. At least one spatially two-dimensionally resolving receiver, preferably as many as are required for the complete detection of the object being measured, are arranged on the support device in any different positions in relation to the object. The projector device is situated next to the rotating table.



## (57) Zusammenfassung

Es wird eine Vorrichtung zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen mit einer Projektionsvorrichtung zur Bestrahlung der Gegenstände aus mindestens zwei vorbestimmten Richtungen jeweils mit mindestens zwei Lichtmustern oder mit einem Lichtmuster, dessen Helligkeitsverlauf der Summe der Helligkeitsverläufe zweier gekreuzter Liniengitter entspricht, vorgeschlagen. Eine Sensorvorrichtung zeichnet flächenhaft die Intensitätsmeßwerte von der mit dem Lichtmuster bestrahlten Objektfläche auf. Eine Auswerteeinrichtung bestimmt daraus für jeden der aufgezeichneten Meßpunkte mindestens vier Phasenmeßwerte und aus diesen mindestens alle räumlichen Koordinaten der Punkte und vorzugsweise die inneren und äußeren Orientierungsparameter für alle Projektorpositionen bzw. Projektoren sowie die Korrekturparameter für die Verzeichnung der Projektionsoptiken. Der zu vermessende Gegenstand ist auf einem Drehtisch angeordnet, der eine Stützordnung mit Tragelementen trägt, die in unterschiedlichen Radialrichtungen zum Drehtisch angeordnet und mit dem Drehtisch um dessen Drehachse drehbar sind. An der Stützordnung sind an unterschiedlichen beliebigen Positionen zum Gegenstand mindestens ein, jedoch so viele räumlich zweidimensional auflösende Empfänger angeordnet, wie für die vollständige Erfassung des zu messenden Gegenstandes erforderlich sind. Die Projektorvorrichtung ist neben dem Drehtisch angeordnet.

# LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Vorrichtung zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten  
von Gegenständen

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten von Gegenständen nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Es sind eine Vielzahl von Verfahren und Anordnungen bekannt, die durch Projektion von Gitterlinien, Gray-Code-Sequenzen oder auch einer Kombination von Gitterlinien und Code-Sequenzen Daten für die Berechnung von Oberflächenformen, Oberflächengeometrien oder auch Koordinaten von ausgewählten Objektpunkten gewinnen.

In derartigen Vorrichtungen werden die Gitterlinien oder Gray-Code-Sequenzen auf die zu vermessende Gegenstandsoberfläche projiziert. Eine CCD-Kamera registriert an jedem ihrer Empfängerelemente die Intensität der Bildpunkte von der Objektoberfläche. Mit be-

kannten mathematischen Algorithmen werden daraus Phasenmeßwerte berechnet. Schließlich werden aus diesen Phasenmeßwerten und den Bildkoordinaten der Meßpunkte in der Bildebene des Aufnahmesystems sowie unter Verwendung von Systemparametern (Orientierungsparametern), die die geometrischen und die Abbildungsbedingungen im Sensor beschreiben, die Koordinaten der Meßpunkte errechnet. Beispielsweise ist aus der DE 44 16 108 eine Vorrichtung bekannt, bei der Gitterlinien aus unterschiedlichen Richtungen auf die zu vermessende Objektoberfläche projiziert werden. Die Koordinaten werden aus Phasenmeßwerten unter Verwendung der Systemparameter bestimmt, wobei letztere separat vor dem eigentlichen Meßvorgang erfaßt werden müssen. Eine solche bekannte Vorrichtung weist den Nachteil auf, daß jede nachträgliche Veränderung der Orientierungs- oder Systemparameter das Ergebnis verfälschen.

Neben optischen 3D-Meßverfahren auf der Basis von Streifenprojektionstechniken sind photogrammetrische 3D-Meßverfahren bekannt, wobei Grundlage für die Berechnung von 3D-Koordinaten der Meßpunkte die Bildkoordinaten, d.h. zweidimensionale Abstände der Bildpunkte vom Meßobjekt von einem willkürlich festgelegten Koordinatenursprung eines zweidimensionalen Koordinatensystems in der Bildebene des Empfängers ist. Diese Bildkoordinaten müssen für eine Koordinatenberechnung aus mindestens zwei unterschiedlichen Kamerapositionen gemessen werden. Vorteilhaft bei diesen Meßverfahren ist, daß pro Meßpunkt ein überzähliger Meßwert gewonnen werden kann, wobei auf diese Weise bei hinreichend vielen Meßpunkten simultan Koordinaten, innere und äußere Orientierungsparameter der Kamera sowie Korrekturparameter für die Verzeichnung berechnet werden. Erhebliche Schwierigkeiten bei der Verwendung photogrammetrischer Meßverfahren bereitet

jedoch die Tatsache, daß die Bildkoordinaten an homologen Meßpunkten bestimmt werden müssen. Voraussetzung dafür ist, daß für eine Punktauswahl die Meßobjektoberfläche geeignet texturiert ist oder daß Marken auf das Meßobjekt aufgebracht werden. Die Extraktion homologer Bildpunkte ist sehr zeitaufwendig und erfordert spezielle Auswertealgorithmen.

Nach einem Vorschlag in der DE 196 37 682 A1 können die Probleme bei der aufwendigen Kalibrierung umgangen werden, wenn das zu vermessende Objekt aufeinanderfolgend aus mindestens zwei vorbestimmten Richtungen mit jeweils zwei Lichtmustern oder Gitterlinienbildern beleuchtet wird, bei denen die Gitterlinienrichtungen um einen Winkel zueinander verdreht sind. In diesem Fall können Koordinaten, unbekannte Orientierungsparameter und Korrekturparameter für die Verzeichnung simultan bestimmt werden, wenn die Anzahl der Meßpunkte eine vorbestimmte Anzahl übersteigt. Ein Markieren der Meßpunkte ist nicht erforderlich. Das Meßergebnis liefert unskalierte Koordinatenmeßwerte in einem freien Koordinatensystem, die Orientierungsparameter des Projektors und ggf. auch der Kamera sowie Parameter zur Korrektur von Projektor und Kamera.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Bestimmen der räumlichen Koordinaten von Gegenständen entsprechend dem Stand der Technik zu schaffen, die einfach in ihrem Aufbau und leicht handhabbar ist und mit der es möglich ist, Koordinaten und System- bzw. Orientierungsparameter simultan zu bestimmen sowie Teilansichten ohne die Markierung von Verknüpfungspunkten bzw. ohne Hilfe von Matchingprozeduren klaffungsfrei zusammenzufügen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Hauptanspruchs gelöst.

5 Durch die in den Unteransprüchen angegebenen Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen möglich.

10 Im Unterschied zum Ausführungsbeispiel in DE 196 37 682 A1 ist in der vorgeschlagenen Vorrichtung der Projektor stationär aufgebaut. Jeder einzelne Projektor ist lediglich in der Höhe über dem Meßobjekt und in seiner Neigung zum Meßobjekt verstellbar. Gegebenenfalls können weitere Projektoren in unterschiedlichen Orientierungen zum Meßobjekt am gleichen Gestänge befestigt oder auch weitere stationäre Projektorhalterungen aufgebaut werden. Dadurch entfällt in der Zeit der Meßwertaufnahme eine zwischenzeitlich notwendige Projektorbewegung wie in DE 196 37 682 A1. Dieser Sachverhalt vereinfacht den technischen Aufwand für den Aufbau der Meßanordnung und macht das Gesamtsystem leichter handhabbar.

25 Durch die Befestigung der als CCD-Kameras an einem Rahmen ausgebildeten Empfänger wird erreicht, daß die Kameras in allen Drehtischpositionen exakt den gleichen Bildausschnitt auf die Empfängerfläche abbilden. Das wird unbedingt verlangt, da anderenfalls die Phasenmessung nicht an homologen Meßpunkten erfolgt, so daß eine zuverlässige Koordinatenberechnung nicht mehr möglich ist. Die gemessenen Koordinaten an den Meßpunkten aller Kameras liegen in jedem Falle im gleichen Koordinatensystem, wenn bei der Tischdrehung immer solche Drehwinkel gewählt werden, daß in der Summe aller Kamerabilder eine von Null verschiedene Schnittmenge in den ausgeleuchteten Flächen benachbarter Projektorpositionen gesichert wird. In der

Schnittmenge sollten mindestens drei Meßpunkte liegen. Bei einer beliebigen Projektorbewegung - wie in DE 196 37 682 A1 vorgeschlagen - ist die genannte Bedingung nicht zwangsläufig erfüllt.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Die einzige Figur zeigt eine schematische perspektivische Ansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Entsprechend der Figur ist das zu vermessende Objekt bzw. der zu vermessende Gegenstand 1 auf einem Drehtisch 2 angeordnet, an dem ein Gestänge oder Rahmen 4 befestigt ist. Der Rahmen 4 weist senkrechte Säulen 3 auf, die über Querstreben 5 miteinander verbunden sind, wodurch der gesamte Aufbau stabilisiert wird. Der Rahmen 4 ist gemeinsam mit dem Drehtisch 2 um die Drehtischachse 6 drehbar. An den Rahmensäulen 3, aber ggf. auch an den Querstreben 5 sind Halterungen angebracht, an denen CCD-Kameras 7.1 bis 7.n befestigt sind, wobei im dargestellten Ausführungsbeispiel vier Kameras verwendet werden. In der Regel werden so viele Kameras 7.1 bis 7.n in beliebigen unterschiedlichen Positionen zum Meßobjekt eingesetzt, wie für die vollständige Erfassung der Meßfläche durch die unterschiedlichen Teilbilder erforderlich sind.

Seitlich vom Drehtisch 2 mit dem starr mit ihm verbundenen Rahmen 4 sind an einem Gestänge 9 mehrere, im Ausführungsbeispiel 2 Projektoren 8.1 bis 8.n angebracht, wobei jedoch auch nur ein Projektor vorgesehen sein kann. Er wird so aufgestellt, daß das Meßobjekt 1 und in vorteilhafter Weise auch Teile der Umgebung des Meßobjekts ausgeleuchtet werden. Seine Höhe über dem Meßobjekt 2, die Neigung seiner opti-

schen Achse zum Meßobjekt kann der Meßaufgabe angepaßt werden. Weiterhin kann der bzw. können die Projektoren 8.1 bis 8.n als Einheit um eine zu optischen Achse des Projektors parallelen Achse drehbar sein wobei nach einer zusätzlichen Drehung des Projektors wiederum aufeinanderfolgend jeweils zwei Serien von Gray-Code-Sequenzen und phasenverschobene Gitterlinien mit zwischenzeitlicher Gitterdrehung um  $90^\circ$  projiziert werden.

Hinsichtlich der Anordnung des Meßobjektes 1 auf dem Drehtisch 2 können auch solche verwendet werden, in denen das Meßobjekt 1 auf einem zusätzlichen Podest liegt, so daß von entsprechend am Rahmen 4 angebrachten Kameras 7 auch die Unterseite bzw. Teile der Unterseite des Meßobjekts 1 erfaßt werden können.

Als Projektoren 8 können unterschiedliche Systeme verwendet werden. Eine erste Art von Projektoren weist auf Glasträger aufgebrachte Gray-Code-Sequenzen sowie vorzugsweise vier oder fünf Liniengitter auf, die um jeweils  $90^\circ$  in der Phase zueinander verschoben sind. Bei einer solchen Gitteranordnung sind die Glasträger bzw. die Projektoren um eine Achse parallel zur Gitternormalen mit einem Winkel zwischen  $10^\circ$  und  $90^\circ$  drehbar.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel ist der Projektor aus matrixförmig angeordneten Einzelelementen aufgebaut, wobei die Einzelelemente beispielsweise als LCD-Chips ausgebildet sind. Dabei werden einzelne rechteckförmige Bereiche bzw. Pixel von einer Steuerung so angesteuert, daß eine Gray-Code-Sequenz und nachfolgend vier oder fünf um jeweils  $90^\circ$  in der Phase zueinander verschobene Liniengitter und daraufhin um  $90^\circ$  verdreht eine zweite Gray-Code-Sequenz und



nachfolgend vier oder fünf Liniengitter mit einer Phasenverschiebung von  $90^\circ$  zueinander erzeugt werden. In diesem Fall liegen die Kanten des Gray-Codes und die Gitterlinien einmal parallel und einmal senkrecht zu den Spalten der LCD-Matrix oder umgekehrt.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel sind die matrixförmig angeordneten Einzelelemente in einer DMD Technologie ausgeführt, wobei die Einzelelemente kleine bewegliche Spiegelflächen auf einem Chip sind. Bei der Ansteuerung eines Spiegelementes wird dieser ausgelenkt und das von einer auf die Mikrospiegelmatrix gerichtete Lichtquelle ausgesandte auftretende Licht wird nicht in die für die Abbildung erforderliche Strahlrichtung zurückgeworfen. Die Ansteuerung der Spiegelemente erfolgt wiederum so, daß jeweils aufeinanderfolgend zwei Gray-Code-Sequenzen und nachfolgend vier oder fünf um jeweils  $90^\circ$  in der Phase zueinander verschobene Liniengitter um  $90^\circ$  gegeneinander verdreht erzeugt werden. Darüber hinaus werden die Einzelspiegel so angesteuert, daß die Intensitätsverteilung im Bild des Liniengitters  $\cos^2$ -förmig ist.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel eines "digitalen Projektors" mit matrixförmig angeordneten Einzelelementen sind diese auf der Grundlage von D-ILA-Technologien (Direct Image Light Amplifier) ausgebildet, wobei die Einzelelemente wiederum pixelweise angesteuert werden. Wird ein Element aktiviert, so wird in Abhängigkeit vom Wert der angelegten Spannung durch Energieübertragung auf Flüssigkristalle das Reflexionsverhalten dieses Elementes verändert. Ansonsten wird die Ansteuerung der Einzelelemente, wie oben erwähnt, durchgeführt und die Intensitätsverteilung im Gitterlinienbild ist in guter Näherung, wie

oben erwähnt, durch eine  $\cos^2$ -Verteilung gegeben.

Der Meßvorgang mit der Vorrichtung nach der Figur läuft in folgender Art und Weise ab. In einer ersten Einstellung des Drehtisches 2 wird, wie oben beschrieben, eine Serie von Graycode-Sequenzen und phasenverschobenen Gitterlinien aufeinanderfolgend um  $90^\circ$  zueinander verdreht auf die Meßfläche projiziert. Jede Kamera 7 registriert in den für sie sichtbaren Punkten die Intensitätswerte der jeweils projizierten Strukturen und es werden die Phasendifferenzen in den jeweils zwei Phasenbildern für jede Beleuchtungsrichtung in Bezug auf immer einen gleichen Referenzwert gebildet. Der Referenzwert markiert den Nullpunkt des Bildkoordinatensystems für jede Projektorposition bzw. Drehtischposition. Der Referenzpunkt bzw. der Nullpunkt des Bildkoordinatensystems wird vorteilhafterweise in den Durchstoßungspunkt der optischen Achse des Projektors durch die Gitterebene gelegt. Aus den Phasendifferenzen bzw. den Intensitätsmeßwerten werden unter Verwendung bekannter Algorithmen für die Projektorposition die beiden Bildkoordinaten jedes Meßpunktes berechnet, wie sie aus der Photogrammetrie bekannt sind. Die Meßpunkte, an denen gemessen wird, sind die virtuellen Bildpunkte der Empfänger-elemente aller Kameras auf der Meßfläche. Ggf. wird in der gleichen Drehtischposition der Projektor um eine zu seiner optischen Achse parallelen Achse gedreht und die Projektion der Intensitätsstrukturen wiederholt.

Die zusätzliche Drehung - in der Photogrammetrie nach zusätzlicher Drehung der Kamera auch Kantung genannt - ist von Vorteil und ggf. auch zwingend erforderlich, wenn simultan zu den Koordinaten und den Orientierungsparametern auch die Korrekturparameter für die Abbildungsfehler (Verzeichnung) der Projektorop-

tik bestimmt werden.

Nach Abschluß der Meßwertaufnahme in der ersten Drehtischposition wird der Tisch 2 mit dem Gegenstand 1, dem Rahmen 4 und den Kameras 7.1 bis 7.n um seine Drehachse 6 verdreht. Der Drehwinkel kann beliebig gewählt werden, er sollte aber größer als 5° sein.

Die Änderung der Drehtischposition entspricht systematisch einer Änderung der Projektorposition. In dieser zweiten Drehtischposition werden Meßwerte, wie oben für die erste Drehtischposition beschrieben wurde, aufgenommen. Dabei muß sich der Projektor 8 in dieser zweiten Drehtischposition nicht notwendigerweise in der gleichen Höhe über dem Objekt befinden und mit gleicher Achsneigung das Objekt 2 beleuchten. Die Veränderung der Drehtischposition oder auch der Projektorposition erfolgt dabei so, daß es in den

ausgeleuchteten Meßfeldern für die aufeinanderfolgenden Drehtischpositionen eine gemeinsame Schnittmenge gibt, in der mindestens drei Meßpunkte aus allen Kameraansichten liegen.

Die Aufnahme-prozedur wird anschließend für eine dritte oder auch für weitere Drehtischpositionen wiederholt. Günstig sind 4 bis 21 Drehtischpositionen.

Aus den in jeder Kameraposition gemessenen Bildkoordinaten werden in einem beliebig vorgewählten Raster oder interaktiv an beliebig über das Meßwertfeld verteilten Punkten oder an Punkten unter Berücksichtigung von vorgegebenen Auswahlkriterien für alle Projektionsrichtungen bzw. Drehtischpositionen, die gültige Meßwerte liefern, Bildkoordinaten aus der Gesamtmenge aller Bildkoordinaten Meßwerte extrahiert. Mögliche Auswahlkriterien sind z.B. vorgegebene Schranken für die Sichtbarkeit, die Modulation der

Intensitätsmeßwerte für die Phasenberechnung an jedem Empfängererelement oder die Mindestanzahl der Beleuchtungsrichtungen, die am Meßpunkt einen gültigen Meßwert liefern.

5

Insgesamt sollten Meßwerte an mindestens 100 Meßpunkten ausgewählt werden, wobei die Maximalzahl nach oben prinzipiell nicht begrenzt ist. Anzustreben ist eine gleichmäßige Verteilung dieser Punkte über die Meßfläche und die Einbeziehung von Meßpunkten in der Umgebung des eigentlichen Meßobjektes in den nachfolgenden Bündelausgleich.

10

15

20

25

An den ausgewählten Meßpunkten werden mit allen dort gemessenen Bildkoordinaten unter Verwendung bekannter Bündelausgleichsalgorithmen simultan die Koordinaten der Meßpunkte, die äußeren Orientierungsparameter für alle Projektor- bzw. Drehtischpositionen, die inneren Orientierungsparameters des Projektors einschließlich von Korrekturparametern für Abbildungsfehler der Projektionsoptik berechnet. Mit den dann bekannten Orientierungs- und Korrekturparametern werden schließlich an allen verbleibenden Meßpunkten mit mindestens drei gültigen Bildkoordinatenmeßwerten die Koordinaten berechnet. Teilansichten von den verschiedenen Kameras werden so miteinander verknüpft, daß die Koordinatenmeßwerte im gleichen Koordinatensystem liegen.

30

35

Im Ergebnis der Auswertung liegen für die Meßpunkte unskalierte Koordinatenmeßwerte in einem freien Koordinatensystem vor. Um eine richtige Skalierung der Koordinatenmeßwerte sicherzustellen, wird entweder mit dem zu vermessenden Objekt gleichzeitig mindestens ein Körper vermessen, von dem ein Längenmaß bekannt ist (z.B. eine Kugel mit bekanntem Radius),

oder die berechneten Koordinatenwerte werden über ein bekanntes Stichmaß im Meßobjekt nachträglich skaliert.

5 Die beschriebene Meßanordnung kann in jeder Projektor- bzw. Drehtischposition durch ihre 6 äußeren Orientierungsparameter (drei Koordinaten der Projektionszentren, drei Drehwinkel um die mitgedrehten Koordinatenachsen), ihre drei inneren Orientierungsparameter und durch zusätzliche Parameter zur Korrektur der Abbildungsfehler beschrieben werden. Dabei sind  
10 die äußeren Orientierungsparameter in jeder Projektorposition für alle Meßpunkte gleich. Die inneren Orientierungsparameter einschließlich der Korrekturparameter sind darüber hinaus unabhängig von der Projektorposition, wenn davon ausgegangen werden kann, daß für alle Projektionen der gleiche Projektor verwendet wird und sich die inneren Orientierungsparameter dieses Projektors in einem Meßvorgang nicht verändern. Wird das Meßobjekt aus mindestens zwei verschiedenen Projektorpositionen bzw. Drehtischpositionen beleuchtet, stehen für die Berechnung der Koordinaten eines Meßpunktes mehr als die notwendigen drei  
15 Meßwerte zur Verfügung. Sind  $n$  die Anzahl der Meßpunkte,  $j$  die Anzahl der Projektorpositionen und  $k$  die Anzahl der Korrekturparameter für Abbildungsfehler, dann können Koordinaten und Orientierungs- sowie Korrekturparameter simultan berechnet werden, wenn gilt:  
20 
$$n \cdot j \geq 3 \cdot n + 6 \cdot j + k + 3.$$

30 Es können zusätzlich oder als Alternative die inneren und äußeren Orientierungsparameter sowie die Korrekturparameter für die Verzeichnung der Abbildungsoptiken der Kameras zur flächenhaften Erfassung der Intensitätsmeßwerte bestimmt werden.  
35

## Patentansprüche

- 5 1. Vorrichtung zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten eines Gegenstands mit einer Projektions-  
vorrichtung zur Bestrahlung des Gegenstands aus  
mindestens zwei vorbestimmten Richtungen jeweils  
mit mindestens zwei Lichtmustern oder mit einem  
10 Lichtmuster, dessen Helligkeitsverlauf der Summe  
der Helligkeitsverläufe zweier gekreuzter Lini-  
engitter entspricht, mit einer Sensorvorrichtung  
zur flächenhaften Erfassung und Aufzeichnung von  
Intensitätsmeßwerten von der mit dem jeweiligen  
15 Lichtmustern bestrahlten Objektoberfläche und  
mit einer Auswertevorrichtung, die daraus für  
jeden der aufgezeichneten Meßpunkte mindestens  
vier Phasenmeßwerte und aus diesen mindestens  
alle räumlichen Koordinaten der Punkte bestimmt,  
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß der zu vermessende Gegenstand (1) auf einem  
Drehtisch (2) angeordnet ist, der eine Stütz-  
anordnung (4) mit Tragelementen (3, 5) trägt,  
die in unterschiedlichen Radialrichtungen zum  
25 Drehtisch (2) angeordnet und mit dem Drehtisch  
(2) um dessen Drehachse (6) drehbar sind, wobei  
an der Stütz-anordnung (4) an unterschiedlichen  
beliebigen Positionen zum Gegenstand (1) minde-  
stens ein, jedoch so viele räumlich zweidimen-  
30 sional auflösende Empfänger (7) als Sensorvor-  
richtung angeordnet sind, wie sie für die Erfas-  
sung der zu messenden Bereiche des Gegenstandes  
(1) erforderlich sind, und daß die Projektions-  
vorrichtung (8) neben dem Drehtisch angeordnet  
35 ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung zusätzlich zu den Koordinaten der Meßpunkte die inneren und äußeren Orientierungsparameter für alle Projektorpositionen bzw. Projektoren sowie die Korrekturparameter für die Verzeichnung der Projektionsoptiken bestimmt.  
5
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung Teilansichten von verschiedenen Empfängern so miteinander verknüpft, daß alle Koordinatenmeßwerte im gleichen Koordinatensystem liegen.  
10
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektorvorrichtung (8) hinsichtlich ihrer Höhe über dem Gegenstand (1) und der Neigung ihrer optischen Achse zum Gegenstand (1) bei unterschiedlichen Drehwinkeln des Drehtisches (2) unterschiedlich einstellbar ist.  
15
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektorvorrichtung (8) um eine zu ihrer optischen Achse parallelen Achse drehbar ist.  
20
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erfassung der Unterseite oder von Teilen der Unterseite des Gegenstandes (1) der Drehtisch (2) ein Podest zur Aufnahme des Gegenstandes aufweist.  
25
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektorvorrichtung (8) Gray-Code-Sequenzen und drei, vorzugsweise vier bis fünf um jeweils 90° in der Phase zueinander verschobene Liniengitter er-  
30

zeugt, die um einen Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  um eine Achse parallel zur Gitternormalen drehbar sind.

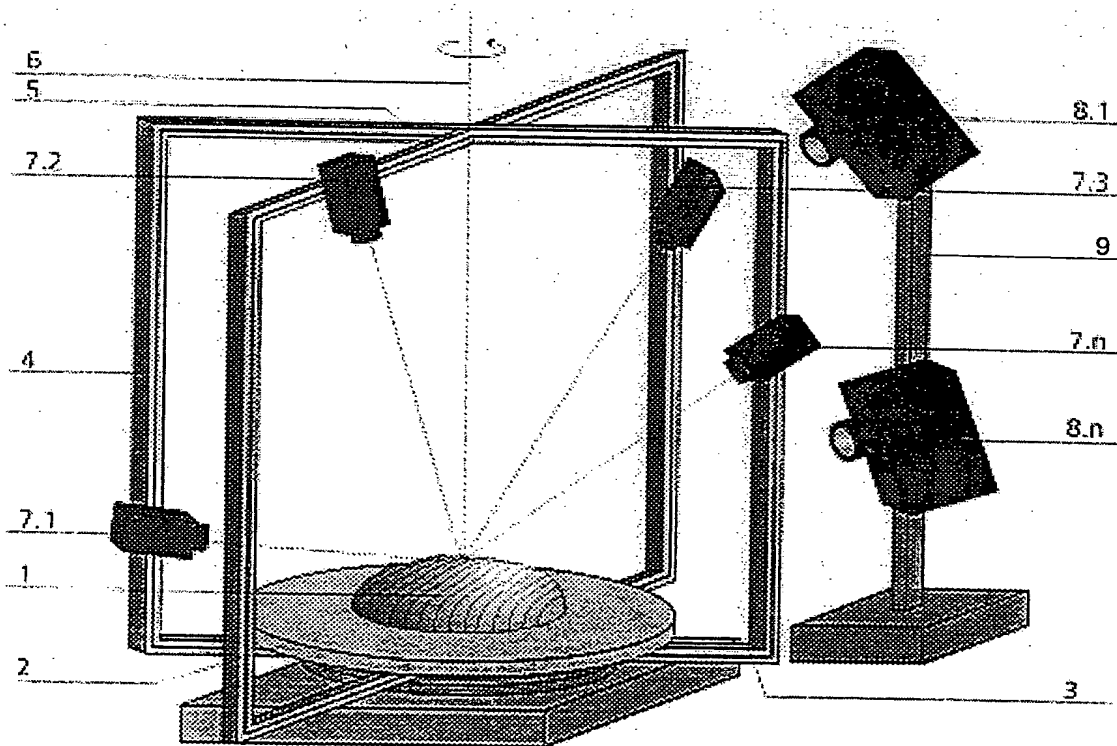
- 5 8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Gray-Code-Sequenzen und Liniengitter auf Glasträger aufgebracht sind.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Projektorvorrichtung matrixförmig angeordnete Einzelelemente aufweist, die  
10 entsprechend den zu erzeugenden Gray-Code-Sequenzen und Gitter einzeln ansteuerbar sind.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelelemente durch Anlegen  
15 einer Steuerspannung selektiv in ihren Transmissions -und/oder Reflexionseigenschaften veränderbar sind.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelelemente als von einer Lichtquelle angestrahlte bewegliche Spiegelelemente ausgebildet sind, die bei Ansteuerung  
20 in ihrer Abstrahlrichtung veränderbar sind.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Drehtisch  
25 (2) zusammen mit dem zu vermessenden Gegenstand eine Strecke mit bekannter Länge angeordnet ist, und daß die Auswerteeinrichtung die Koordinatenmeßwerte unter Verwendung der bekannten Länge skaliert.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11,  
30 dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteeinrichtung unter Verwendung eines bekannten Stichmaßes



im zu vermessenden Gegenstand die berechneten Koordinatenmeßwerte nachträglich skaliert.

5 14. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kugel mit bekanntem Durchmesser oder auch mehrere Kugeln mit bekanntem Durchmesser oder bekannten Abständen ihrer Kugelmittelpunkte zusammen mit dem Gegenstand vermessen wird.

10 15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung zusätzlich zu den Koordinaten der Meßpunkte die inneren und äußeren Orientierungsparameter sowie die Korrekturparameter für die Verzeichnung der Abbildungsoptiken der mindestens einen  
15 Sensorvorrichtung zur flächenhaften Erfassung der Intensitätsmeßwerte bestimmt.



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No.  
PCT/EP 99/08272

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G01B11/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 615 343 A (TELSA INFORMATIQUE SA) 18 November 1988 (1988-11-18)	1-6, 15
A	siehe die gesamte Druckschrift; figures 1-3	12-14
X	EP 0 403 908 A (HARTMETALLWERKZEUGFABRIK ANDREAS MAIER GMBH) 27 December 1990 (1990-12-27) column 4, line 57 -column 5, line 39; figures 1-3	1
A	US 4 185 918 A (P. DIMATTEO ET AL) 29 January 1980 (1980-01-29) siehe die gesamte Druckschrift; figures 1-10, 15-19	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 February 2000

Date of mailing of the international search report

08/02/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Visser, F

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP 99/08272

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>US 4 269 513 A (P. DIMATTEO)  26 May 1981 (1981-05-26)  siehe die gesamte Druckschrift;  figures 1-7</p> <p>-----</p>	8-11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. Application No

PCT/EP 99/08272

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR 2615343	A	18-11-1988	EP 0363542 A	18-04-1990
EP 403908	A	27-12-1990	DE 3919865 A	20-12-1990
			DE 3930224 A	14-03-1991
			DE 3942257 A	27-06-1991
			AT 119275 T	15-03-1995
			DE 3929679 A	14-03-1991
			DE 4040609 A	25-06-1992
			DE 9007732 U	04-05-1995
			DE 59008567 D	06-04-1995
			JP 3150405 A	26-06-1991
US 4185918	A	29-01-1980	US 4508452 A	02-04-1985
US 4269513	A	26-05-1981	US 4175862 A	27-11-1979
			BE 845465 A	16-12-1976
			CA 1079965 A	24-06-1980
			CH 611016 A	15-05-1979
			DE 2637905 A	10-03-1977
			DK 386576 A	28-02-1977
			ES 451007 A	16-08-1977
			FR 2322358 A	25-03-1977
			GB 1570091 A	25-06-1980
			IT 1073688 B	17-04-1985
			JP 1435006 C	07-04-1988
			JP 52029252 A	04-03-1977
			JP 62032406 B	14-07-1987
			NL 7609498 A	01-03-1977
			SE 432021 B	12-03-1984
			SE 7609326 A	28-02-1977
			SE 8204577 A	04-08-1982
			US 4511252 A	16-04-1985
			US 4145991 A	27-03-1979
			US 4187011 A	05-02-1980

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

ationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/08272

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 G01B11/24

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G01B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	FR 2 615 343 A (TELSA INFORMATIQUE SA) 18. November 1988 (1988-11-18)  siehe die gesamte Druckschrift; Abbildungen 1-3	1-6, 15  12-14
X	EP 0 403 908 A (HARTMETALLWERKZEUGFABRIK ANDREAS MAIER GMBH) 27. Dezember 1990 (1990-12-27) Spalte 4, Zeile 57 -Spalte 5, Zeile 39; Abbildungen 1-3	1
A	US 4 185 918 A (P. DIMATTEO ET AL) 29. Januar 1980 (1980-01-29) siehe die gesamte Druckschrift; Abbildungen 1-10, 15-19	1-7
	---	
	-/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

1. Februar 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

08/02/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2260 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Visser, F

**C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 269 513 A (P. DIMATTEO) 26. Mai 1981 (1981-05-26) siehe die gesamte Druckschrift; Abbildungen 1-7 -----	8-11

# INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/08272

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 2615343 A	18-11-1988	EP 0363542 A	18-04-1990
EP 403908 A	27-12-1990	DE 3919865 A	20-12-1990
		DE 3930224 A	14-03-1991
		DE 3942257 A	27-06-1991
		AT 119275 T	15-03-1995
		DE 3929679 A	14-03-1991
		DE 4040609 A	25-06-1992
		DE 9007732 U	04-05-1995
		DE 59008567 D	06-04-1995
		JP 3150405 A	26-06-1991
US 4185918 A	29-01-1980	US 4508452 A	02-04-1985
US 4269513 A	26-05-1981	US 4175862 A	27-11-1979
		BE 845465 A	16-12-1976
		CA 1079965 A	24-06-1980
		CH 611016 A	15-05-1979
		DE 2637905 A	10-03-1977
		DK 386576 A	28-02-1977
		ES 451007 A	16-08-1977
		FR 2322358 A	25-03-1977
		GB 1570091 A	25-06-1980
		IT 1073688 B	17-04-1985
		JP 1435006 C	07-04-1988
		JP 52029252 A	04-03-1977
		JP 62032406 B	14-07-1987
		NL 7609498 A	01-03-1977
		SE 432021 B	12-03-1984
		SE 7609326 A	28-02-1977
		SE 8204577 A	04-08-1982
		US 4511252 A	16-04-1985
		US 4145991 A	27-03-1979
		US 4187011 A	05-02-1980